Über den Bau des Stärkemehls.

Von Prof. Dr. **Th. Hartig,**

Forstrath in Braunschweig.

(Mit 1 Tafel).

In einer früheren Arbeit über Verjauchung todter, organischer Stoffe, aufgenommen im LXI. Bande der Sitzungsberichte der k. k. Akademie der Wissenschaften, Maiheft 1870, habe ich beiläufig einer auffallenden Bildung des Stärkemehls der Kartoffelknolle erwähnt (Fig. 2 der dort beigegebenen Tafel), die man nicht selten zur Ansicht erhält, wenn man im Wasser eines Kochröhrchens suspendirtes Stärkemehl, unter fortdauerndem Schütteln auf 60—65° C. erhitzt. Den bis daher unbekannten, gegliederten Bau des Stärkemehlkorns habe ich weiter an anderen Mehlarten verfolgt und erlaube mir Hoher Akademie die Resultate meiner neuesten Untersuchungen in Nachfolgendem vorzulegen.

Die wichtigsten Aufschlüsse lieferte mir das Mehl aus dem Rhizom von *Canna indica* dadurch, dass in ihm fast jedes Korn den Gliederstrang als normale Bildung erkennen lässt. Ich erlaube mir eine Probe dieses Mehls für das Mikroskop und einige Präparate, Quellungszustände desselben enthaltend, hier beizulegen.

Es hat das sehr grobkörnige Canna-Mehl nahezu die Grösse des Kartoffelmehl's (0·01 Mm.), zeigt auch, wie Letzteres, in den oberen, dem Nabel entgegengesetzten Regionen eine, durch Zwischenlagerung von Luftschichten dunklere, dadurch scharf hervortretende Compressions-Faltung (Fig. 1—3 der beiliegenden Tafel). Unfern dem unteren Rande des Fig. 1 gezeichneten, unveränderten Korns erkennt man einen kleinen, kreisrunden sogenannten Nabelfleck, der jedoch nicht, wie am Kartoffelmehle der Fall ist, lichthell hervortritt, da er nicht, oder doch nur sehr

selten durch Einstülpung veranlasst wird. Dieser Nabelfleck erscheint von zarten Schichtungslinien concentrisch umgeben, zu denen auch die Schichtungslinien in den oberen Theilen des Mehlkorns in Beziehung zu stehen scheinen.

Im Wasser des Kochröhrchens auf 30—40° C. erhitzt, erweitert sich der Nabelfleck sternförmig (Fig. 2). Bei einer Erwärmung auf 40—50° C. findet weitere Vergrösserung des Raumes nach oben hin statt, ehe noch eine bedeutende Quellung des ganzen Korns eingetreten ist (Fig. 3), und erkennt man schon jetzt eine gewisse Regelmässigkeit in Grösse, Form und Stellung der sogenannten Risse, sowie eine, aus dem Innenraume in die Risse hinaufreichende Granulirung, die, wie sich am Kartoffelmehle bei gleicher Behandlung viel deutlicher erkennen lässt, auf dem Vorhandensein eines, die innere Wandungsgrenze bekleidenden Schlauches beruht, dessen Verwandtschaft mit dem Zellschlauche (Primordialschlauch) unverkennbar ist. Bei einer Quellung im Wasser von 64—65° C. hat sich, wie die Figuren 4—7 veranschaulichen, der Innenraum in dem Maasse erweitert, dass die einschliessende Mehlwandung den Charakter einer dicken, aus Schichtungslamellen bestehenden Zellwandung erhält, die durch radial gestellte, in der optischen Längsschnittfläche des expandirten Zustandes zuckerhutförmige Räume von verhältnissmässig bedeutender Grösse durchsetzt ist, deren Regelmässigkeit in Form, Grösse, Stellung, der Annahme eines, auf gewaltsamer Zerreissung beruhenden Entstehens dieser Räume auf's Bestimmteste widerspricht.

In der That sind diese Räume schon im frischen, feuchten Mehlkorne vorgebildet, entziehen sich aber der Beobachtung, so lange die gegenüberliegenden Flächen der Räume, Grenzen einer Gliederung der Mehlwandung, dicht aneinander liegen. Erst durch eintretende Quellung, gleichviel ob diese in heissem Wasser, Glycerin oder in verdünnten Säuren sich vollzieht, bilden sich die in der Aufsicht zuckerhutförmigen Räume zwischen je zweien Gliedern der Wandung, in einer von Aussen nach Innen zunehmenden Weite, durch ungleiches, von Innen nach Aussen zunehmendes Quellungsvermögen der Wandungsschichten in peripherischer Richtung. Nur auf diesem Wege vermag ich die Thatsache zu erklären: dass, mit zunehmender Quellung der Wandung, zugleich auch

der Innenraum des Korn's, wie es scheint passiv, sich erweitert, dass, bis zu einem hohen Quellungsgrade, die Wandungsglieder zwischen je zweien Nachbarräumen nach Innen zugeschärft sind (Fig. 4, 11). Der Umstand, dass die äusseren Schichten der Mehlwandung die älteren sind, dass in ihnen die Zahl der sie constituirenden, organischen Moleküle wahrscheinlich eine grössere ist, mag das nach Aussen zunehmende Quellungsvermögen der Schichten erklären.

Dass auch hier jedes einzelne Glied der Mehlwandung von einer, im Verhalten zu heissem Wasser und zu verdünnten Säuren von den Ablagerungsschichten verschiedenen Hüllschicht umgeben ist, die nur an der Aussengrenze des Mehlkorns den Zusammenhang der Glieder erhält, lässt sich aus der, mitunter starken Wölbung schliessen, mit der die expandirten Wandungsschichten über die Spitzen je zweier benachbarten Räume hervortreten. In der äusseren Grenzlinie der Figuren 4—7 und 11 habe ich dies hervorgehoben. Es macht diese Quellungsform den Eindruck, als sei die Quellung an der Spitze eines jeden Raumes zurückgehalten. Die Grenze der einzelnen Glieder, in Fig. 4 durch eine geschlängelte Doppellinie bezeichnet, bleibt durch Jodlösung ungefärbt.

Wenn zwischen zweien Gliedern des Stranges Zerreissung eingetreten ist, dann runden sich alle, bis daher durch Pressung eckigen Glieder zur gestreckt ovalen Form, wie dies der Vergleich von Fig. 11 mit Fig. 13 aus Bohnenmehl (Fig. 10), der Vergleich zwischen Fig. 15 und 16 aus Roggenmehl (Fig. 14) erläutert. Canna-Mehl zeigt dies seltener, am expandirten Korne mitunter in einem gewissen Grade des Austrocknens auf der Objectplatte (Fig. 9— die scheinbar dunkle Färbung durch Lichtbrechung).

Wie die Figuren 4, 5, 7 und 17 erkennen lassen, ist der untere Theil des Mehlkorns, da wo früher der Nabel sich befand, weit dünnwandiger als der entgegengesetzte Wandungstheil. Der untere, dünnwandige Theil ist, häufig mehrfach sich wiederholenden Ein- und Ausstülpungen unterworfen, wie die Figuren 7 und 17 erkennen lassen. Die Gliederung der Mehlwandung, als Regel bei Canna, häufig bei Leguminosen, seltener bei Cerealien, und ausnahmsweise am Mehl der Kartoffelknolle zu beobachten, ist jedoch selbst beim Canna-Mehl nicht ohne Ausnahme. Ein gliederfreies Mehlkorn dieser Art stellt Fig. 8 dar. In Folge der

Expansion haben sich die Schichtungslamellen des dickeren Theils der Wandung von einander getrennt und in ihrer Lagerung unregelmässig verändert.

Es ist nicht leicht aus der mikroskopischen Ansicht des Mehlkorns ein annähernd richtiges, körperliches Bild desselben sich zu construiren. Aufsicht auf die zum Innenraume erweiterte Längenachse einer geschälten Apfelsine, wenn man sich in Letzterer, trotz der Erweiterung des Innenraums, die ursprüngliche Form der Längsstücke erhalten denkt, würde wohl der in Fig. 11 gezeichneten optischen Querfläche ganz gut entsprechen, lässt aber in Bezug auf höhere und tiefere Einstellung des Objectiv's Vieles zu wünschen.

Von dem bis daher geschilderten Baue des Mehlkorns, der sich sehr wohl mit dem Baue der Zellwandung vergleichen lässt, treten nicht selten Abweichungen ein, die sich auf die Zellwandung nicht zurückführen lassen. Es bestehen diese Abweichungen in einer Verdoppelung der Mehlwandung, die von den, auch bei Zellen häufigen Einschachtelungen mehrerer Schichtungscomplexe darin sich unterscheidet, dass sie einen sie trennenden Innenraum einschliessen, entweder neben dem normalen granulirten Innenraume oder ohne letzteren. Die Figuren 5 und 6 stellen beide Fälle dar. Fig. 5 zeigt in den oberen dickwandigen Theilen den inneren Schichtungscomplex (*b*) genau im Anschluss zum äusseren Schichtungscomplexe (*a*) so dass die zuckerhutförmigen Gliederungsräume beider Schichtungscomplexe mit den Trichterrändern einander genau gegenüberstehen, gemeinschaftliche spindelförmige Räume bildend, die untereinander durch schmale Räume (*c*) verbunden sind [1]. In den unteren Theilen des Korns erweitern sich diese überall granulirten, also mit einer Schlauchhaut ausgekleideten Räume, unter Einstülpung nur des inneren Schichtungscomplexes, zu einem grossen, granulirten Innenraume (*d*), während in dem Raume *b* die Granulirung fehlt. Das Abweichende vom Bau der Zellwandung liegt hier darin, dass, wo letztere aus mehreren Schichtungscomplexen zusammen-

---

[1] Hierher gehört auch diejenige Bildung des Gliederstranges, die ich Fig. 2, zur Abhandlung „Über Verjauchung“ im vorigen Jahrgange der Sitzungsberichte, gezeichnet habe.

gesetzt ist, der mit einer Schlauchhaut bekleidete Raum stets ein Innerer bleibt, während hier der Innenraum zwischen zweien Schichtungscomplexen liegt. Noch auffallender ist der, Taf. 5 Fig. 6 dargestellte Bau dadurch, dass hier nur der untere, eingestülpte Theil der Mehlwandung Verdoppelung, Gliederung und Correspondenz der Gliederungsräume in gleicher Weise zeigt, wie solches in Fig. 5 nur den oberen Wandungstheilen zuständig ist, dass neben diesen intermediären Räumen auch der normale Innenraum mit einer Schlauchhaut bekleidet ist.

Fig. 13, einen Expansions-Zustand des Bohnenmehls von Phaseolus darstellend, zeigt durch Körnelung hervortretende, in der Axe der Wandungsglieder verlaufende Räume mit Abzweigungen nach Aussen, die zu der Vermuthung Anlass geben: dass diese, immerhin aussergewöhnlichen Bildungen mit nicht perfect gewordenen Theilungsvorgängen des jugendlichen Zustandes der Mehlkörner in Beziehung stehen, wie ich solche für das Hafermehl nachgewiesen habe. Ich erlaube mir ein Exemplar meiner Schrift „Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims“, Leipzig 1858 für die Bibliothek Hoher Akademie hier beizulegen, da in derselben der Bau des Hafermehls beschrieben und Taf. II Fig. 47—52 abgebildet ist.

Es dürfen diese Bildungen mit Dem nicht zusammengeworfen werden was man „componirtes“ Mehl genannt hat. In der Regel ohne eigenen Innenraum, sind die Glieder des Stranges Theilkörper eines und desselben Organismus, während im componirten Mehlkorn mehrere, an sich vollständige Mehlzellen zu Zwillingen, Drillingen etc. vereint sind.

Seltener bei Canna, häufiger bei Secale besteht das Mehlkorn aus einem einzigen nicht gegliederten, vielfach in- und umeinander gewundenen Schlauche (Fig. 18).

Während einiger Tage nach bewirkter Quellung des Mehls ist die Körnelung des Innenschlauches eine überall gleichmässige (Fig. 4—6). Nach 6—8 Tagen einer Aufbewahrung in feuchter Wärme zeigt sich auch hier die eingetretene Verjauchung zuerst der Schlauchhaut, deren frei gewordene Jauchekörner, zu kleineren und grösseren Gruppen zusammentretend (Fig. 7), das Material für selbstthätig bewegte Micrococcus, Bacterium und Vibrio liefern.

Es ist mir leider noch nicht gelungen eine bestimmte Ansicht zu gewinnen in Bezug auf das, was man in der Literatur der Stärkemehlkunde als Cellulose und Granulose unterscheidet. Auch im expandirten Mehlkorne vermag ich eine Structurveränderung durch mehrstündige Einwirkung einer, auf 50° C. erwärmten Speichelflüssigkeit nicht aufzufinden. Ich sehe in diesem Falle nicht mehr als das allmälige Erlöschen der Reaction des Mehl's auf Jodlösung, ohne Übertragung derselben auf die, das Mehl umgebende Speichelflüssigkeit. Nach längerer Einwirkung des Speichelferments zeigt sich, vor völligem Zerfallen der Wandung, mitunter eine Granulirung derselben, die sich dann aber gleichmässig auf alle Schichtungs-Lamellen erstreckt.

Ebenso vermag ich im Innern des Mehlkorns einen „Kern" oder eine, einen Innenraum erfüllende Flüssigkeit nicht zu unterscheiden. Selbst bei einer auf den doppelten Durchmesser bei 80° C. vorgeschrittenen Quellung erkennt man noch hier und da die Zuschärfung der einzelnen Wandungsglieder nach Innen (Fig. 11) und wenn bei einer auf 100° C. gesteigerten Erwärmung, bei einer Quellung auf das Dreifache des ursprünglichen Durchmessers, die Gliederung bis auf seltene Spuren verschwindet, das Korn alsdann einem mehr oder weniger geordneten Convolut von Bändern ähnlich wird, so mag dies darin begründet sein, dass bei den höchsten Graden der Quellung die Grenzflächen der Räume dicht aneinander gepresst und dadurch unsichtbar werden. Meiner Auffassung nach stossen im nicht gequollenen Korne die inneren Schärfen aller Wandungsglieder da zusammen, wo der sogenannte Nabelfleck liegt (vergl. Fig. 1—3), ohne einen bemerkbaren Raum zwischen sich zu lassen. Wenn in anderen Mehlarten ein dunkler, strahliger Luftraum an die Stelle des Nabelflecks tritt (Fig. 10 Phaseolus, Fig. 14 Secale, Fig. 19 Zea) so entsteht derselbe allein in Folge stärkeren Schwindens der inneren Wandungsschichten durch Austrocknen, im Gegensatze zu dem stärkeren Quellen der äusseren Wandungsschichten in erwärmtem Wasser.

Als Belag, dass die Gliederung eine weit verbreitete Eigenthümlichkeit der Mehlwandung ist, habe ich Fig. 10 ein Mehlkorn von Phaseolus, Fig. 11—13 verschiedene Quellungszustände

desselben; Fig. 14 ein Mehlkorn von Secale, Fig. 15—18 Quellungszustände desselben; Fig. 19 ein Grosskorn von Zea, Fig. 20 den gewöhnlichsten Quellungszustand desselben abgebildet. Auf die Eigenthümlichkeit der Quellungsverschiedenheiten habe ich vorhergehend Bezug genommen.

Aus den mitgetheilten Thatsachen ergibt sich:

1. Dass das Bild des Mehlkorns im unveränderten Zustande nicht entfernt Aufschluss zu geben vermag über den Bau desselben.

2. Dass die durch Quellung zur Erkenntniss gelangenden Structurverhältnisse im Wesentlichen denen der Gewebezelle entsprechen, mit der die Mehlzelle auch in den Ernährungs-, Wachsthums- und Mehrungs-Vorgängen übereinstimmt.

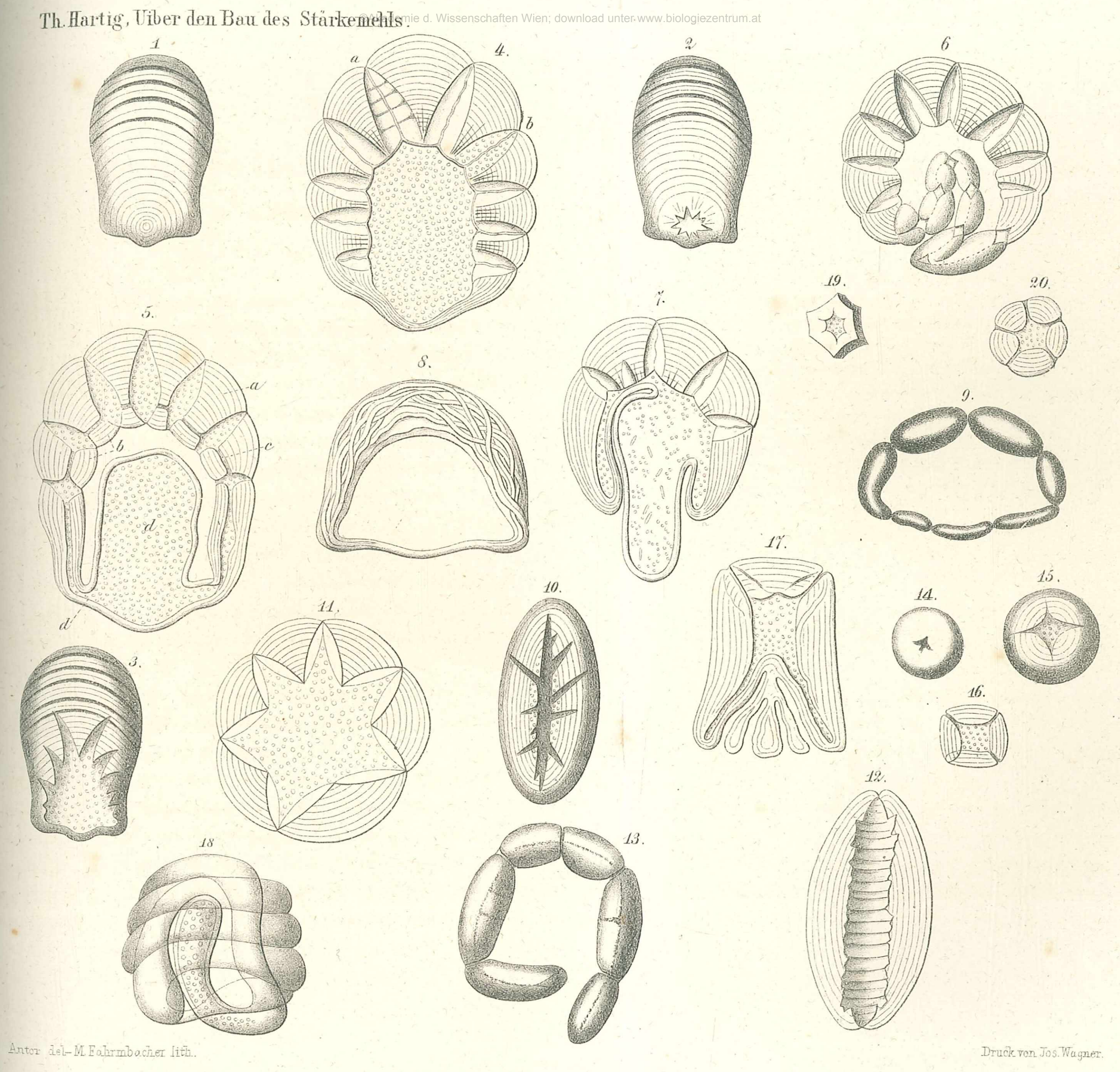
3. Dass die Annahme freithätigen Werdens so hoch entwickelter Organismen aus einem Urschleime (Protoplasma), gegenüber der von mir nachgewiesenen Abstammung der Mehlkörper aus dem Zellkerne (Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims Taf. III) thatsächlicher Begründung bedarf.

4. Dass, ausser der Beseitigung jener Protoplasma-Hypothese, jenes Hemmschuhes aller gedeihlichen Entwickelung biologischer Erkenntniss, Letzterer Nichts nöthiger ist als die Praxis einer Experimentirkunst am Mikroskoptische, für die ich, in einem beinahe vierzigjährigen Zeitraume mit nur sehr beschränktem Erfolge gekämpft habe, wie solches auch der vorliegende Fall ergibt.

Dagegen ist es mir noch nicht gelungen eine bestimmte Ansicht zu gewinnen hinsichtlich der Beziehungen, in denen die, am unveränderten Mehlkorne erkennbaren, scheinbar ununterbrochenen Schichtungslinien zu den Schichtungslinien stehen, die in den Gliedern des expandirten Mehlkornes erkennbar sind. Andeutungen liegen mir für die Annahme vor: dass Erstere nur den äussersten, ältesten Schichtungslamellen angehören und einer Einfaltung derselben ihr Dasein verdanken, während am expandirten Korne die wirklich bestehende Schichtung der Mehlwand erkennbar wird.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1—9, Mehlkörner aus dem Rhizom von Canna.
  Fig. 1, unverändert.
  „ 2—9, verschiedene Grade und Arten der Quellung.
10—13, Mehlkörner aus dem Samen von Phaseolus.
  Fig. 10, unverändert.
  „ 11—13, verschiedene Grade und Arten der Quellung.
14—18, Mehlkörner aus Secale Samen.
  Fig. 14, unverändert.
  „ 15—18, verschiedene Grade und Arten der Quellung.
19—20, Grosskörner aus dem Mehl des Samens von Zea.
  Fig. 19, unverändert.
  20, gequollen.



Autor del. M. Fahrmbacher lith.

Druck von Jos. Wagner.